

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-267028

(P2005-267028A)

(43) 公開日 平成17年9月29日(2005.9.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G06F 17/50

B21D 5/01

F1

G06F 17/50

G06F 17/50

B21D 5/01

680C

612H

Z

テーマコード(参考)

4E063

5B046

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2004-76184(P2004-76184)

(22) 出願日 平成16年3月17日(2004.3.17)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成15年10月  
20日 社団法人日本塑性加工学会発行の「第54回塑  
性加工連合講演会講演論文集」に発表

(71) 出願人 390001579

プレス工業株式会社

神奈川県川崎市川崎区塩浜1丁目1番1号

(74) 代理人 100068021

弁理士 絹谷 信雄

(72) 発明者 伊藤 耿一

宮城県仙台市太白区富田字八幡東55-7

(72) 発明者 風間 宏一

神奈川県藤沢市遠藤2003番地の1 プ

レス工業株式会社藤沢工場内

(72) 発明者 永井 康友

神奈川県藤沢市遠藤2003番地の1 プ

レス工業株式会社藤沢工場内

Fターム(参考) 4E063 AA01 JA01 LA10 LA19

5B046 AA05 JA07

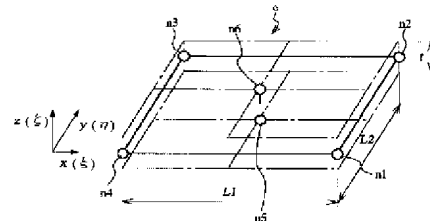
(54) 【発明の名称】 板材成形シミュレーション及びプレス成形方法

(57) 【要約】

【課題】 板材の厚さ方向のひずみ及び応力を精確に求  
める。

【解決手段】 四角形のシェル要素eを用いた有限要素  
法に基づいて板材の曲げ変形をシミュレートする板材成  
形シミュレーションにおいて、板材をシェル要素eの四  
隅の節点n1～n4に、上下面中央の節点n5、n6を  
加えた六節点のシェル要素eで定義し、シェル要素eに  
基づいて各節点n1～n6の変位を算出する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

四角形のシェル要素を用いた有限要素法に基づいて板材の曲げ変形をシミュレートする板材成形シミュレーションにおいて、上記板材をシェル要素の四隅の節点に、上下面中央の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、該シェル要素に基づいて各節点の変位を算出することを特徴とする板材成形シミュレーション。

## 【請求項 2】

四角形のシェル要素を用いた有限要素法に基づいて板材の曲げ変形をシミュレートする板材成形シミュレーションにおいて、上記板材をシェル要素の四隅の第一の節点に、上下面中央の第二の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、該シェル要素に基づいて各節点の変位を算出すると共に、第二の節点のひずみ及び応力を求め、その求めたひずみ及び応力から上記板材の曲げ変形に基づくスプリングバック量を算出することを特徴とする板材成形シミュレーション。

10

## 【請求項 3】

成形すべき板材の形状データをコンピュータに入力すると共に、これを有限要素法に基づく四角形のシェル要素の四隅の節点に、上下面中央の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、上記板材をプレス成形したときのスプリングバック量を求め、該スプリングバック量を考慮して上記板材をプレス成形することを特徴とするプレス成形方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

20

## 【0001】

本発明は、シェル要素を用いた有限要素法に基づく板材成形シミュレーション及びプレス成形方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、板材のプレス成形分野において、有限要素法に基づく板材成形シミュレーションが普及してきた。有限要素法とは、解析対象となる板材を幾つかの要素に分割して考え、要素毎に方程式を作り、それを元に解析対象全体の方程式（全体方程式）を組み立てて解く解法である。

## 【0003】

30

現在、板材成形シミュレーションにおいて広く利用されているシェル要素としては、Mindlin-Reissnerの仮定を用いたものが知られている（非特許文献 1 等参照）。このシェル要素は、板材の厚さ方向の応力分布を常に一定とした平面応力状態を仮定している。

## 【0004】

【非特許文献 1】O. C. ツェンキビッツ他、マトリックス有限要素法、科学技術出版社、1998 年 1 月

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

従来の板材成形シミュレーションでは、板材の厚さ方向の応力を常に「ゼロ」と仮定したシェル要素を用いているため、厚さ方向のひずみ及び応力を求めることはできない。従って、板厚方向の応力を無視した状態でのシミュレーションを行うため、応力精度に敏感なスプリングバック変形予測の精度を悪化させていた。

40

## 【0006】

また、従来の板材成形シミュレーションでは、厚さ方向に節点及び要素が一層しか存在しないシェル要素を用いているため、シェル要素の上下面に異なる境界条件を与えることができない。従って、板材の下面を拘束して、板材の上面に荷重を加えるような曲げ変形をシミュレートすることができなかった。

## 【0007】

ところで、板材成形シミュレーションに、シェル要素に代えて、ソリッド要素を用い

50

ば、厚さ方向のひずみ及び応力を求めること、及びソリッド要素の上下面に異なる境界条件を与えることができるが、計算時間がシェル要素を用いた場合の数倍になってしまう。そのため、計算時間の制約から、板材成形シミュレーションにソリッド要素を用いることはほとんどない。

【0008】

そこで、本発明の目的は、板材の厚さ方向のひずみ及び応力を精確に求めることができる、シェル要素を用いた有限要素法に基づく板材成形シミュレーション及びプレス成形方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、請求項1の発明は、四角形のシェル要素を用いた有限要素法に基づいて板材の曲げ変形をシミュレートする板材成形シミュレーションにおいて、上記板材をシェル要素の四隅の節点に、上下面中央の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、該シェル要素に基づいて各節点の変位を算出することを特徴とする板材成形シミュレーションである。

【0010】

請求項2の発明は、四角形のシェル要素を用いた有限要素法に基づいて板材の曲げ変形をシミュレートする板材成形シミュレーションにおいて、上記板材をシェル要素の四隅の第一の節点に、上下面中央の第二の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、該シェル要素に基づいて各節点の変位を算出すると共に、第二の節点のひずみ及び応力を求め、その求めたひずみ及び応力から上記板材の曲げ変形に基づくスプリングバック量を算出することを特徴とする板材成形シミュレーションである。

【0011】

請求項3の発明は、成形すべき板材の形状データをコンピュータに入力すると共に、これを有限要素法に基づく四角形のシェル要素の四隅の節点に、上下面中央の節点を加えた六節点のシェル要素で定義し、上記板材をプレス成形したときのスプリングバック量を求め、該スプリングバック量を考慮して上記板材をプレス成形することを特徴とするプレス成形方法である。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、板材の厚さ方向のひずみ及び応力を精確に求めることができるという優れた効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の好適な一実施形態を添付図面に基づいて詳述する。

【0014】

まず、図1を用いて、本実施の形態において用いるシェル要素について説明する。

【0015】

図1は、本実施の形態に用いるシェル要素の概略図である。図1において、図中の横方向をx方向、図中の斜め方向をy方向、図中の上方向をz方向（板材の厚さ方向）とそれぞれ定義する。

【0016】

図1に示すように、本実施の形態に用いるシェル要素eは、四角形の平面要素である。このシェル要素eのx方向の長さ、y方向の長さ、及びz方向の長さは、それぞれL1、L2、及びtであるとする。

【0017】

シェル要素eの各隅には、四つの第一の節点n1～n4が配置されている。シェル要素eの上下面中央には、二つの第二の節点n5、n6が配置されている。第二の節点n5は、解析対象となる板材の下面に相当する。第二の節点n6は、解析対象となる板材の上面に相当する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

シェル要素 e の形状関数を数 1 ～ 数 3 に示す。

【 0 0 1 9 】

【 数 1 】

$$u = \left[ \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{4} \quad \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{4} \right] \left\{ \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta_{y1} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{y3} \\ \theta_{y3} \end{bmatrix} \frac{t}{2} \zeta \right\}$$

10

【 0 0 2 0 】

【 数 2 】

$$v = \left[ \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{4} \quad \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{4} \right] \left\{ \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \theta_{x2} \\ \theta_{x3} \\ \theta_{x3} \end{bmatrix} \frac{t}{2} \zeta \right\}$$

【 0 0 2 1 】

20

【 数 3 】

$$w = \left[ \frac{(1+\xi)(1-\eta)-\zeta^2}{4} \quad \frac{(1+\xi)(1+\eta)-\zeta^2}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1+\eta)-\zeta^2}{4} \quad \frac{(1-\xi)(1-\eta)-\zeta^2}{4} \quad \frac{\zeta(\zeta-1)}{2} \quad \frac{\zeta(\zeta+1)}{2} \right] \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \end{bmatrix}$$

【 0 0 2 2 】

30

数 1 ～ 数 3 において、u、v 及び w は、それぞれ x、y、及び z 方向の変位である。 $\theta_x$  及び  $\theta_y$  は、それぞれ x 軸、及び y 軸回りの回転角度である。また、これらの記号に付された下付数字は、各節点 n 1 ～ n 6 の番号と対応している（例えば、 $u_1$  は、第一の節点 n 1 の x 方向の変位である）。 $\xi$ 、 $\eta$ 、及び  $\zeta$  は、それぞれ x、y、及び z 方向に対応した、局所座標系により表される座標を示す。

【 0 0 2 3 】

数 1 ～ 数 3 に示すように、節点 n 1 ～ n 4 は、x、y、z 方向の変位、及び x 軸、y 軸回りの回転角度が定義されている。これら節点 n 1 ～ n 4 は、背景技術の欄で説明した平面応力状態を仮定している。また、節点 n 5、n 6 は、それぞれ、z 方向（板材の厚さ方向）の変位のみが定義された一自由度の節点である。

【 0 0 2 4 】

40

つまり、本実施の形態に用いるシェル要素 e は、四角形のシェル要素 e の四隅の第一の節点 n 1 ～ n 4 に、上下面中央の第二の節点 n 5、n 6 を加えた六節点のシェル要素 e である。

【 0 0 2 5 】

ここで、シェル要素 e に、z 方向（板材の厚さ方向）の変位が定義された第二の節点 n 5、n 6 を、板材の上下面に相当する位置にそれぞれ配置している。そのため、シェル要素 e の上下面に異なる境界条件を与えることができると共に、第二の節点 n 5、n 6 の変位に基づいて、厚さ方向のひずみ及び応力を求めることができる。

【 0 0 2 6 】

また、シェル要素 e は、従来 of シェル要素に、一節点につき一自由度を有する節点（n

50

5、n 6) を二個加えたものである。そのため、従来のシェル要素に比べて計算時間が若干増加する程度であると共に、ソリッド要素に比べて計算時間が短いことを維持できる。

【0027】

次に、数4及び数5に、シェル要素eの応力を定義する。

【0028】

【数4】

$$\sigma = [\sigma_{xx} \ \sigma_{yy} \ \sigma_{zz} \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T$$

10

【0029】

【数5】

$$\sigma_{zz} = -2.38 \times 10^{-8} + P(0.5 + 0.75\zeta) + 7.15 \times 10^{-9}\zeta$$

【0030】

数4において、 $\sigma_{xx}$ 、 $\sigma_{yy}$ 、及び $\sigma_{zz}$ は、それぞれ、シェル要素e内のx、y、及びz方向の垂直応力である。 $\sigma_{xy}$ 、 $\sigma_{yz}$ 、及び $\sigma_{xz}$ は、それぞれ、xy平面、yz平面、及びxz平面のせん断応力である。

20

【0031】

従来のシェル要素では、z方向の垂直応力 $\sigma_{zz}$ を、常にゼロと仮定していた。本実施の形態の一例として、z方向の垂直応力 $\sigma_{zz}$ を、数5のように定義した。数5において、Pは、各節点n 1～n 6に付与する荷重を示す。

【0032】

これら数1～数5を、予めコンピュータの記録媒体に記憶させておく。また、有限要素法に基づく板材成形シミュレーションに用いる数1～数5以外の関数（剛性関数等）は、従来と同様のものが使用可能であるので、説明を省略する。これらもコンピュータの記憶媒体に予め記憶させておく。

30

【0033】

次に、図2を用いて、本実施の形態の板材成形シミュレーションの手順について説明する。

【0034】

まず、ステップS 1において、コンピュータに解析対象となる板材の形状データ（板材の大きさ）、板材の物性値（ヤング率、ポアソン比等）、及び解析モデルの定義に使用するシェル要素eの数（分割数）等を入力する。次に、ステップS 2において、板材の形状データ等に基づいて、解析モデルをシェル要素eで定義する。つまり、シェル要素eの形状関数を元に全体方程式を構築する。

【0035】

その後、ステップS 3において、コンピュータに境界条件及び荷重条件等を入力する。次に、ステップS 4において、全体方程式を解くことにより、各節点n 1～n 6の変位を算出すると共に、ステップS 5において、第二の節点n 5、n 6のひずみ及び応力を求め、その求めた第二の節点n 5、n 6のひずみ及び応力から、板材の曲げ変形に基づくスプリングバック量を算出する。そして、ステップS 6において、ステップ5で求めたスプリングバック量を出力する。

40

【0036】

ここで、本実施の形態では、ステップS 4において算出した各節点n 1～n 6の変位に基づいて、境界条件及び荷重条件等を変更して再度シミュレートすることができる。この場合、ステップS 2に戻り、ステップS 4で算出した変位に基づいて、変形後の全体方程

50

式を構築する。

【0037】

次に、図3を用いて、本実施の形態の板材成形シミュレーションの一例について説明する。

【0038】

図3(a)は、解析モデルの一例を示す概略図である。図3(b)は、図3(a)の解析モデルを下方へたわませた状態を示す概略図である。

【0039】

まず、図3(a)に示すように、成形すべき板材の解析モデルを、任意数(ここでは、二個)のシェル要素e1、e2で定義する。これらは、図2に示すステップS1「形状データの入力」、及びステップS2「全体方程式の構築」に相当する。ここで、節点m1、m2が板材の一端を構成し、節点m7、m8が板材の他端を構成する。節点m3、m4は、板材の長手方向の中央部を構成する。この節点m3、m4は、シェル要素e1とシェル要素e2とで共有される。また、節点m5、m9は、板材の下面を構成する。節点m6、m10は、板材の上面を構成する。

【0040】

これら二つのシェル要素e1、e2は、図1に示すシェル要素eと同様のものである。シェル要素e1については、節点m1～m4がシェル要素eの第一の節点n1～n4、節点m5、m6がシェル要素eの第二の節点n5、n6にそれぞれ相当する。シェル要素e2については、節点m3、m4、m7、m8がシェル要素eの第一の節点n1～n4、節点m9、m10がシェル要素eの第二の節点n5、n6にそれぞれ相当する。

【0041】

次に、節点m1、m2、及び節点m7、m8にx、z方向への変位を拘束する境界条件を与えた後、節点m1、m2、及び節点m7、m8に回転増分Aを与え、解析モデルを下方へたわませる。これは、図2に示すステップS3「境界条件の入力」に相当する。回転増分Aの付与は、節点m1、m2、及び節点m7、m8をy軸回りに $\theta$ 度だけ回転させることによって行われる。

【0042】

このときの各節点m1～m10の変位を算出し、図3(b)に示す解析モデルを構築する。これは、図2に示すステップS4「変位の算出」、及びステップS2「全体方程式の構築」に相当する。

【0043】

次に、図3(b)に示す解析モデルの節点m6、m10にz方向に垂直に荷重Pを付与する。図4に示すものは、板材の下面に相当する節点m5、m9にz方向への変位を拘束する境界条件を与えないものであり、図5に示すものは、板材の下面に相当する節点m5、m9にz方向への変位を拘束する境界条件を与えたものである。

【0044】

このときの各節点m1～m10の変位を算出すると共に、第二の節点m5、m6、m9、m10のひずみ及び応力を求める。これは、図2に示すステップS4「変位の算出」に相当する。

【0045】

図6に、図4及び図5の解析モデルにおけるz方向(板材の厚さ方向)の応力分布を示す。図6において、横軸は、z方向の応力 $\sigma_{zz}$ を示し、縦軸は、z方向の座標 $\zeta$ を表す。 $\zeta = 1$ のときの応力 $\sigma_{zz}$ は、板材の上面、即ち節点m6(m10)の応力を示す。 $\zeta = -1$ のときの応力 $\sigma_{zz}$ は、板材の下面、即ち節点m5(m9)の応力を示す。これらを繋いで、板材の厚さ方向の応力分布とする。

【0046】

実線r1及び破線r2は、それぞれ、図4の解析モデルの応力分布、及びその理論的な応力分布を示す。実線r3及び破線r4は、それぞれ、図5の解析モデルの応力分布、及びその理論的な応力分布を示す。

10

20

30

40

50

## 【0047】

ここで、図6に示すように、算出した応力分布  $r_1$ 、 $r_3$  と理論的な応力分布  $r_2$ 、 $r_4$  とでは、それぞれ若干の誤差が生じている。これは、節点  $m_5$ 、 $m_6$ 、 $m_9$ 、 $m_{10}$  (シェル要素  $e$  の第二の節点  $n_5$ 、 $n_6$ ) が  $z$  方向 (板材の厚さ方向) の変位のみが定義されているためである。シェル要素  $e$  の第二の節点  $n_5$ 、 $n_6$  に第一の節点  $n_1 \sim n_4$  と同様の自由度を付与すれば、算出した応力分布  $r_1$ 、 $r_3$  と理論的な応力分布  $r_2$ 、 $r_4$  とは完全に一致するが、当然、計算時間が数倍に増加する。

## 【0048】

次に、算出した応力分布に基づいて、図5の解析モデルにおけるスプリングバック量の予測をする。

10

## 【0049】

図7において、横軸は、荷重  $P$  を示し、縦軸は、解析モデルの長手方向端部の  $y$  軸回りの回転モーメント (曲げモーメント)  $M$  (図5参照) を示す。この曲げモーメント  $M$  は、図6で示した応力分布より求めるものとする。

## 【0050】

図7に示すように、荷重  $P$  が増加すると、解析モデルの長手方向端部の曲げモーメント  $M$  が低下している。この曲げモーメント  $M$  は、板材成形におけるスプリングバックの原因となり、成形後の板材をスプリングバックさせる。本実施の形態においては、プレス成形時のスプリングバック量を、曲げモーメント  $M$  の大きさから予測するものとする。

## 【0051】

本実施の形態のプレス成形方法は、上述の板材成形シミュレーションにより求めたスプリングバック量を考慮して、実際に板材をプレス成形するものである。詳しくは、スプリングバック量を考慮して、成形圧力 (荷重) 及び金型の形状等を決定するものとする。

20

## 【0052】

以上、本実施の形態の板材成形シミュレーションは、板材を、従来のシェル要素の上下面中央に節点  $n_5$ 、 $n_6$  を加えた六節点のシェル要素で定義している。そのため、本実施の形態の板材成形シミュレーションによれば、ソリッド要素を用いることなく、板材の厚さ方向の応力分布を精確に求めることができる。これにより、板材の厚さ方向の応力分布から、板材の曲げ変形に基づくスプリングバック量を予測することができる。

## 【0053】

また、本実施の形態のプレス成形方法は、上述の板材成形シミュレーションにより得られたスプリングバック量を考慮してプレス成形を行う。そのため、本実施の形態のプレス成形方法によれば、スプリングバック量を考慮した板材の変形を予測することができ、従来行っていた「決め押し」等の工程を行う必要がなくなる。これにより、従来に比べて加工時間 (成形時間) を大幅に短縮することが可能となる。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0054】

【図1】本実施の形態に用いるシェル要素の概略図である。

【図2】板材成形シミュレーションのステップ図である。

【図3】(a) は、解析モデルの一例を示す概略図である。(b) は、図3(a) の解析モデルを下方へたわませた状態を示す概略図である。

40

【図4】図3(b) の解析モデルに荷重を付加した状態を示す概略図である。

【図5】図3(b) の解析モデルに荷重を付加した状態を示す概略図である。

【図6】 $z$  方向の応力分布を示すグラフである。

【図7】荷重と解析モデルの長手方向端部の曲げモーメントとの関係を示すグラフである。

## 【符号の説明】

## 【0055】

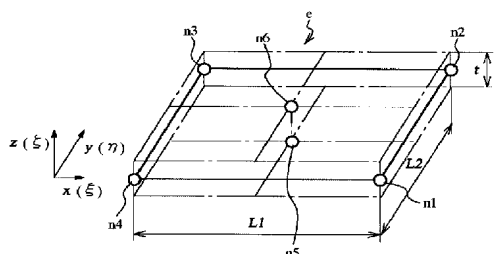
$e$  シェル要素

$n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$  第一の節点

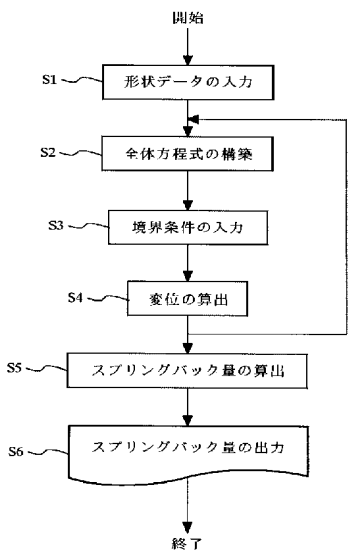
50

n 5、n 6 第二の節点  
u、v、w 変位  
 $\theta$  回転角度  
 $\sigma$  応力  
P 荷重  
M 曲げモーメント

【 図 1 】

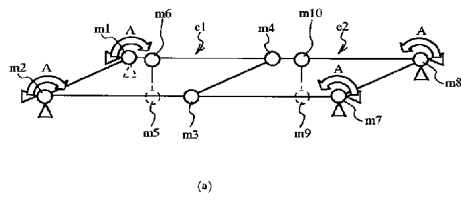


【 図 2 】

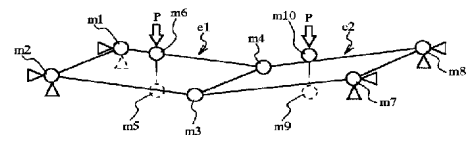




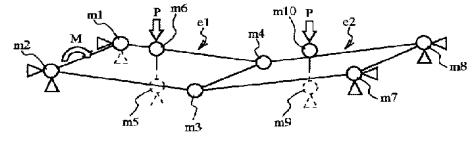
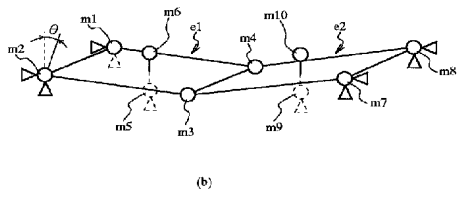
【 例 3 】



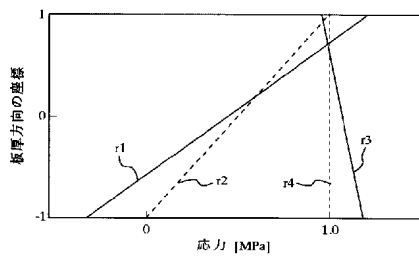
【 図 4 】



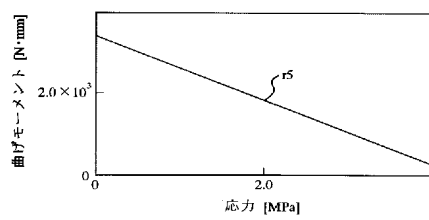
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



**PAT-NO:** JP02005267028A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2005267028 A  
**TITLE:** PLATE FORMING SIMULATION AND  
PRESS FORMING METHOD  
**PUBN-DATE:** September 29, 2005

**INVENTOR-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
ITO, KOUICHI	N/A
KAZAMA, KOICHI	N/A
NAGAI, YASUTOMO	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
PRESS KOGYO CO LTD	N/A

**APPL-NO:** JP2004076184  
**APPL-DATE:** March 17, 2004

**INT-CL (IPC):** G06F017/50 , B21D005/01

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately find strain and stress in a thickness direction of a plate.

SOLUTION: In this plate forming simulation simulating bending deformation of the plate on the basis of a finite element method using a square

shell element e, the plate is defined by the shell element e of six nodes wherein nodes n5, n6 of the centers of upper and lower faces are added to nodes n1-n4 of four corners of the shell element e, and displacement of the respective nodes n1-n6 is calculated on the basis of the shell element e.

COPYRIGHT: (C) 2005, JPO&NCIPI